

배수갑문의 통수능과 개방고 및 호상공 설계를 위한 실험적 연구

김진홍*, 김주창**

1. 서론

간척사업을 위해 축조되는 방조제에는 홍수배제를 목적으로 배수갑문을 부속 설치하고 있다. 배수갑문을 설계할 때 고려해야 할 사항으로는 계획홍수량을 충분히 통수시킬 수 있어야 하며, 문비개방시 방류부에서는 사류나 도수현상이 발생되지 않아야 하고, 하상세굴을 방지할 수 있도록 적절한 호상공 대책을 수립하여야 한다.

본 연구에서는 새만금지구 방조제에 부속 설치되는 배수갑문을 대상으로 하여 수리시험을 통해 계획홍수량을 방류하였을 때의 통수능력을 검토하고 방류구간에서 사류 발생여부를 판단하며, 주어진 유입량에 대해 답수호의 수위를 관리수위, 홍수위 등으로 유지하기 위한 개방고를 결정함으로써 문비조작 운영지침으로 이용할 수 있도록 하였다. 또한 방류구간에서의 하상보호 기능을 강화할 수 있도록 호상공의 범위를 결정하고, 제염암거 구간에서 토사퇴적 여부를 검토하여 퇴적방지를 기할 수 있도록 적절한 대책을 강구하였다.

2. 실험장치 및 방법

배수갑문 상류의 내수 유동상황과 하류부의 방출류 흐름특성을 수리실험에 의해 분석하는 것으로 하였다. 모형 축척은 상기 상황을 재현할 수 있도록 모형범위를 정하고 시험장 여건과 조석수조 규모를 감안하여 1/80로 하여 비외곡 모형으로 하였다 (그림 1 참조). 모형 재료는 배수갑문 본체는 아크릴로 제작하였고 방조제 구간은 모래 포설 후 시멘트 몰탈로 처리하였다. 배수갑문 유입량은 유입수 공급관을 제작하였고 흐름의 난류현상을 충분히 줄이고 균등하게 유입시키기 위해 블럭 벽과 소파장치를 설치하였다. 실험조건은 내수위를 관리수위, 평균해면, 홍수위 등으로 유지하고, 외수위를 저극조위, 대조평균간조위, 소조평균간조위, 평균해면 등으로 각각 유지시키면서 배수갑문 개방고에 따른 유량별로 설정하였다. 내수위 유지는 공급관의 밸브 회전수와 weir 조작으로 하였으며, 외수위는 모형수조 말단부에 설치된 조석발생장치에 의해 유지시켰다. 표 1은 실험조건을 나타내고 있다. 수위, 유속 측정은 전기식 수위계와 2방향 유속계를 이용하여 측정된 자료를 실내에서 자동적으로 읽히도록 하였으며, 좀 더 세부적으로 관측할 필요가 있는 지점은 직접 측정하는 것으로 하였다.

3. 수리현상 분석

그림 2는 외수위가 대조평균간조위이고 내수위가 홍수위일 경우 배수갑문 방류구간에서의 흐름을 나타내고 있다.

* : 광주대학교 공과대학 토목공학과 전임강사

** : 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수리시험장장



표 1 실험조건

그림 1 모형의 구성 (s=1/80)

내수위	배수갑문 개방고	외수위	비 고
관리수위 EL(-)1.5m	<p>전체 개방 0 ~ 5 m</p> <p>일부 개방 0 ~ 5 m</p>	저극조위 EL(-)3.791m	<p>전체개방은 문비전체를 동시에 개방한 것을 의미하며, 부분개방은 중앙문비 2개 문을 개방한 것을 의미함.</p>
평균해면 EL(-)0.005m		대조평균간조위 EL(-)2.973m	
홍수위 EL(+)1.5m		소조평균간조위 EL(-)1.440m	
		평균해면 EL(-)0.005m	

흐름의 유속은 $V=5.0 \sim 5.5\text{m/s}$ 이고 Froude 수는 $Fr=0.8 \sim 0.95$ 로서 한계류에 가까운 상류현상을 보이고 있다. 배수갑문 하류부의 하상세굴에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 최악조건은 계획홍수량을 방류하였을 때 내.외 수위차가 가장 큰 경우로서 내수위가 홍수위 EL (+)1.5m이며 외수위가 저극조위 EL(-)3.791m일 때이다. 이 때의 수리실험 결과를 보면 최대유속 $V_{\max}=5.5\text{m/s}$ 이고 Froude수 $Fr=0.95$ 로서 설계유속 $V=5.985\text{m/s}$ 에 미치지 않으며 세굴발생에 영향을 미치는 사류, 도수 현상은 보이지 않는다.

한편 제염암거 방류구간에서는 유속이 $V=1.0\text{m/s}$ 이하로서 흐름의 분리에 따른 반시계 방향의 약한 순환류가 형성된다. 따라서 이 지점에서 토사퇴적이 예상되며 장기간 계속될 경우 퇴적에 따른 제염암거 기능이 마비될 우려가 있으므로 준설등의 유지관리가 뒤따르게 된다. 흐름의 방향은 그림 2에서도 알 수 있듯이 배수갑문 방향과 일치하고 있다. 따라서 흐름은 호상공 영역과 배수로 영역을 따르지 않으며 하류 약 1km 지점부터 흐름이 배수로로 벗어나고 있음을 알 수 있다. 흐름의 폭은 배수갑문의 폭과 거의 일치하고 있다.

4. 통수능력 검토 및 배수갑문 개방고 결정

배수갑문을 통한 유량공식은 문비의 상.하류 단면 사이의 내.외 수위차와 흐름의 단면적과의 함수로 표시된다. 농지개량사업 설계기준(해면간척편)에 의하면 내.외 수위조건에 따라 여러 유량공식을 적용하고 있으며 실무에서도 이 기준을 따르고 있다. 본 실험에서도 상기 기준에 의해 유량계수를 산출하는 것으로 하였다.

표 2는 실험 측정치 및 유량계수 값을 나타내고 있다. 여기서 Q 는 홍수량, H_1 는 내수위, H_2 는 외수위, ΔH 는 내.외 수위차, B 는 흐름의 폭, C 는 유량계수, H_3 는 배수갑문 개방고를 나타내고 있다. 한편 case는 흐름상태를 나타내며 case1은 수중 orifice, case2는 수중 웨어, case4는 자유 월류 웨어를 나타낸다. 비고난의 전체개방은 배수갑문 전체 8개 문비를 개방한 것이며, 일부개방은 중앙 2개 문비만 개방한 것을 뜻한다. 상기 표를 보면 유량계수는 내.외 수위차가 클수록 커지며, 동일 수위차에서는 내수위가 낮을수록 유량계수가 커짐을 알 수 있다. 유량계수 값은 $C=0.75 \sim 0.92$ 로서 실무에서 적용하는 $C=0.80$ 에 가깝다.

배수갑문을 통과하는 최대통수량은 표 2에서 나와 있듯이 내수위가 홍수위이고 외수위가 저극조위일 경우 전체 수문을 완전개방 하였을 때로서 $Q_{\max}=7,800(\text{m}^3/\text{s})$ 로 나타나고 있다. 이는 설계홍수량 $Q=4,167(\text{m}^3/\text{s})$ 를 충분히 통수시키며 설계 최대배제량 $Q=7,050(\text{m}^3/\text{s})$ 를 10% 초과 통수시킬 수 있는 것으로 나타나 배수갑문의 통수능력은 충분함을 알 수 있다.

한편 표 2의 결과로부터 배수갑문 개방고에 따른 내수심과 유량과의 관계를 도시한 결과는 그림 3에 나타나 있다. 그림 3을 보면 유량은 내수심과 개방고에 비례함을 알 수 있으며 이 그림에 의해 배수갑문 유량을 알면 내수위를 홍수위, 관리수위 등으로 유지하기 위한 배수갑문의 개방고를 결정할 수 있어 배수갑문 조작운영의 기본자료로 이용할 수 있다. 또한 배수갑문을 적절히 조작하지 못함으로써 야기되는 이상 방류현상을 막기 위해서는 올바른 배수갑문 조작 운영지침을 마련해야 한다. 즉, 배수갑문 하류부에서 사류가 발생된다든지 배수갑문을 월류하는 흐름이 발생할 경우 호상공 지점에서 세굴발생의 원인이 될 수 있으므로 이 현상을 방지하기 위한 조작 지침도 마련하는 것이 바람직하다.

문비를 개방하였을 때 하류부에서 도수가 발생하는 조건은 문비개방 지점에서 사류가 발생할 때이며, 따라서 문비개방 지점에서 한계류가 발생될 때가 도수발생의 한계시점이 된다. 이 경우,

$$V_c = Q / (C_{D1} \cdot B \cdot H_3) \quad (1)$$

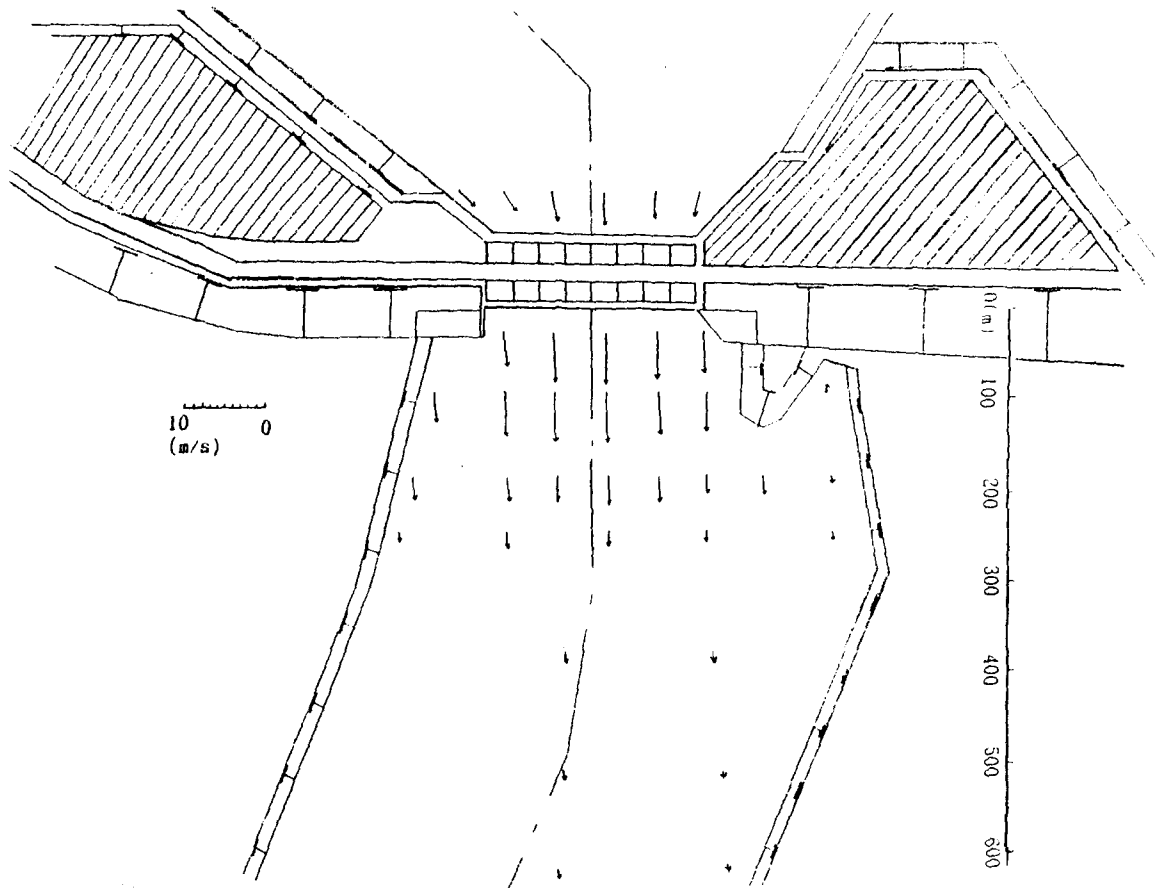


그림 2 배수갑문 상. 하류구간에서의 흐름상태

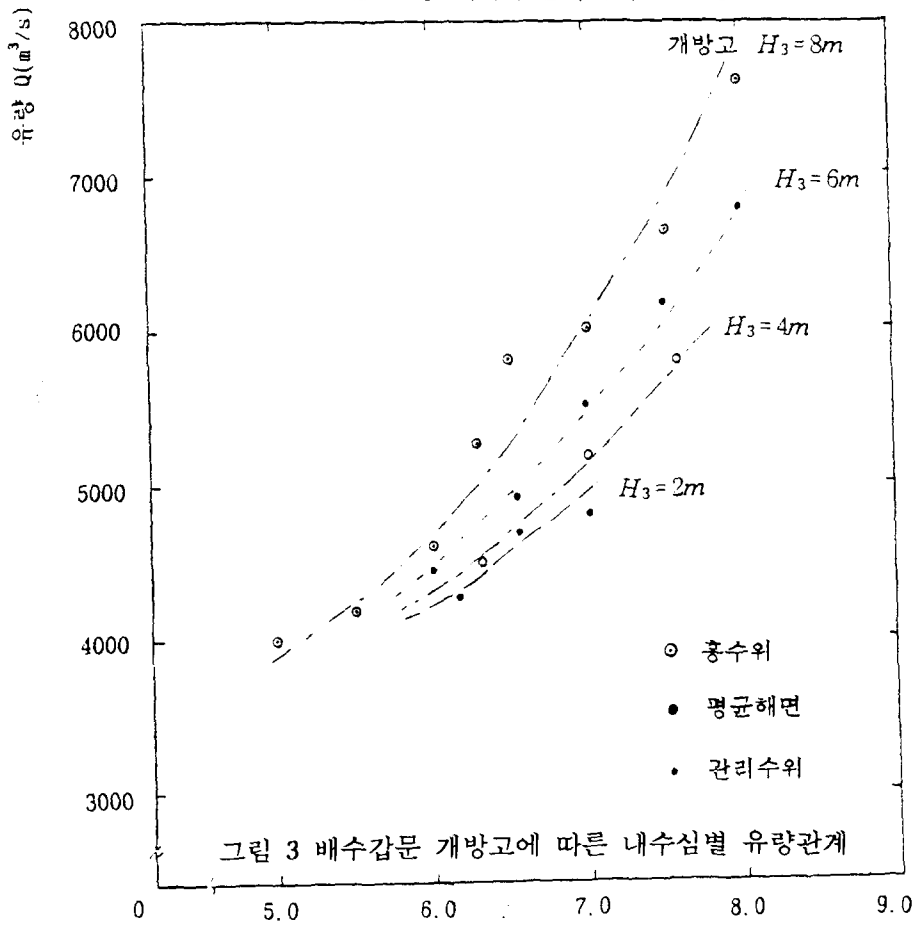


그림 3 배수갑문 개방고에 따른 내수심별 유량관계

또한 한계류의 조건식으로 부터,

$$F_r = V_c \sqrt{g C_{D2} H_3} = 1$$

$$V_c = \sqrt{g C_{D2} H_3} \quad (2)$$

상기 두 식으로 부터 도수 발생 조건식은 다음과 같이 된다.

$$Q = C_D B \sqrt{g} H_3^{3/2} \quad (3)$$

여기서, V_c 는 배수갑문 문비개방 지점의 한계유속이며, B 는 배수갑문의 폭, H_3 는 개방고, $C_D (= C_{D1} \cdot \sqrt{C_{D2}})$ 는 비례계수를 나타낸다. 유량을 일정하게 유지시키고 문비 개방고를 점차 축소시키면서 도수가 발생되었을 때의 실험 자료치를 도시한 결과 도수발생 한계곡선은 그림 4와 같이

$$Q = 0.532 B \sqrt{g} H_3^{3/2} \quad (4)$$

로 나타났다.

문비 개방고를 더욱 축소시키면 흐름은 문비를 월류하게 되며, 이 경우의 실험 자료치 및 문비 월류발생 한계곡선도 그림 4에 함께 도시하였다. 그림 4에서 두 곡선 중 윗 곡선은 도수발생 한계곡선이며 아래곡선은 문비월류 한계곡선을 나타낸다. 두 곡선 사이의 빗금친 부분이 도수발생 영역이고 하단 영역이 문비월류 영역이며 제일 윗 영역이 도수나 문비월류가 일어나지 않는 적절한 영역이다. 따라서 그림 4에 의해 배수갑문 유량을 알면 개방고에 따른 도수, 문비월류나 적절한 조건 등을 판단할 수 있고 도수나 문비월류를 방지하기 위한 적절한 문비 개방고를 결정할 수 있어 배수갑문 조작용영 지침의 기본 자료로 이용될 수 있다.

5. 호상공 검토

배수갑문 하류부의 하상세굴을 방지하기 위한 호상공의 범위 (폭, 길이)를 결정하기 위해서는 배수갑문에서 방류되는 흐름의 특성을 파악해야 한다. 배수갑문을 통한 흐름의 특성은 3항에서 설명되었으며 호상공 범위 결정을 위한 관련되는 흐름특성을 요약하면 다음과 같다.

(1) 제염암거 방류구간에서는 흐름의 분리로 인한 약한 순환류가 발생된다.

(2) 흐름방향은 배수갑문 방향을 따르며 따라서 흐름은 하류 약 1km 지점에서 배수로 영역을 벗어난다.

(3) 배수갑문을 지난 흐름의 폭은 배수갑문 폭과 거의 일치한다.

(1)의 경우 흐름의 분리로 인한 토사퇴적이 야기되어 제염암거 기능이 마비될 우려가 있으므로 다음과 같은 대책이 요구된다. 즉,

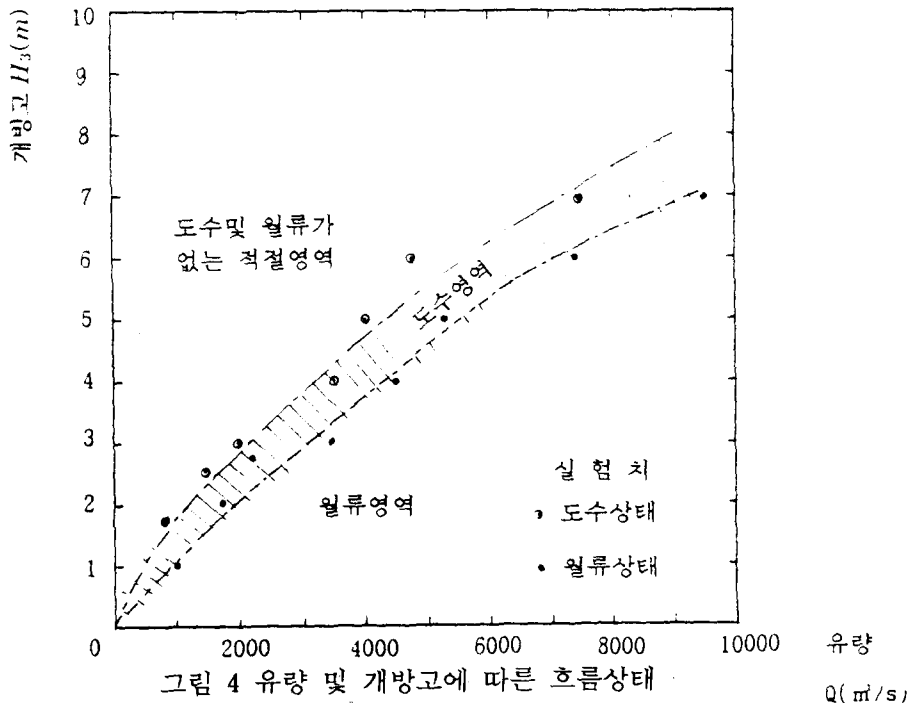
- 제염암거 방류구간에 설치된 호상공을 제거하여 흐름의 분리현상을 없애도록 한다.

- 제염암거 방류지점을 호상공 영역까지 연장 설치한다.

상기 사항은 그림 5에 나타나 있다. 이 경우 호상공 설치 범위가 줄어들어 경제성을 높일 수 있다.

표 2 수리실험 결과

RN	Q (m ³ /s)	H ₁ (m)	H ₂ (m)	ΔH (m)	B (m)	C (-)	H ₃ (m)	흐름 상태	내 외수위	비 고
1	7,800	8.0	2.709	5.291	240	0.84	8.0	case4	홍수위, 저극조위	전체개방
2	7,600	8.0	3.527	4.473	240	0.82	8.0	"	"	대조평균간조위
3	7,400	8.0	5.060	2.940	240	0.80	8.0	"	"	소조평균간조위
4	6,400	6.459	6.495	1.505	240	0.75	8.0	case3	"	평균해면
5	6,000	6.459	2.709	3.786	240	0.89	8.0	case4	평균해면 저극조위	"
6	5,800	6.459	3.527	2.968	240	0.86	8.0	"	"	대조평균간조위
7	5,300	5.0	5.060	1.435	240	0.82	8.0	case3	"	소조평균간조위
8	4,200	5.0	2.709	2.291	240	0.92	8.0	case4	관리수위, 저극조위	"
9	4,000	5.0	3.527	1.473	240	0.87	8.0	case3	"	대조평균간조위
10	1,350	8.0	2.709	5.291	60	0.85	2.6	case1	홍수위, 저극조위	일부개방
11	1,280	8.0	3.527	4.473	60	0.76	3.0	"	"	대조평균간조위
12	1,200	8.0	5.060	2.940	60	0.75	3.5	"	"	소조평균간조위
13	1,120	8.0	6.495	1.505	60	0.69	5.0	"	"	평균해면
14	1,190	6.495	2.709	3.786	60	0.89	2.6	case1	평균해면 저극조위	"
15	1,180	6.495	3.527	2.968	60	0.81	3.2	"	"	대조평균간조위
16	970	6.495	5.060	1.435	60	0.76	4.0	"	"	소조평균간조위
17	925	5.0	2.709	2.291	60	0.92	2.5	"	관리수위, 저극조위	"
18	832	5.0	3.527	1.473	60	0.86	3.0	"	"	대조평균간조위



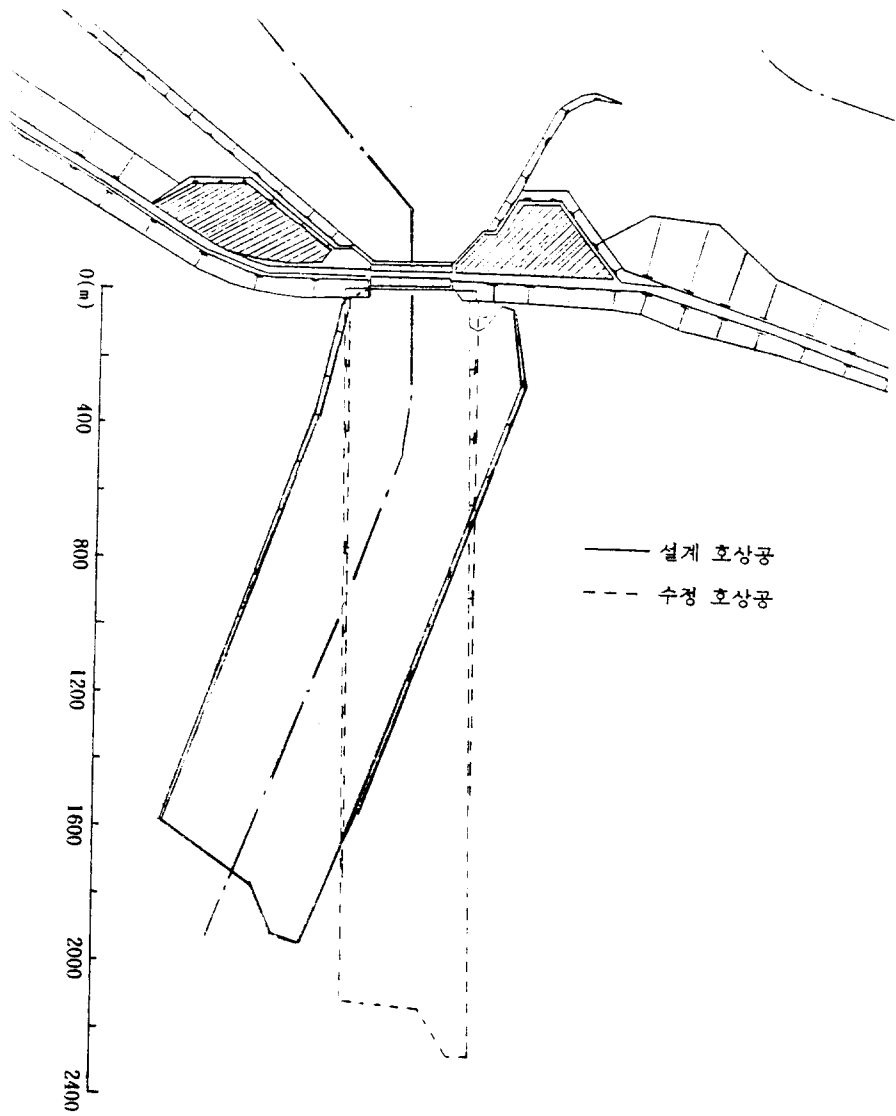


그림 5 수정된 호상공 범위

(2)의 경우, 흐름방향이 호상공 설치방향과 일치하지 않으므로 하류 구간에서 하상세굴이 발생할 우려가 있다. 따라서 호상공 설치방향을 흐름방향과 일치하도록 한다. 이 경우의 호상공 수정 설치 방향도 그림 5에 표시하였다. 여기서 실선은 설계된 호상공 설치방향이며 점선이 수정된 호상공 설치방향이다.

(3)의 경우, 흐름의 폭이 배수갑문 폭과 거의 일치하므로 호상공 폭은 그리 넓게 설치하지 않아도 된다. 다만 호상공 폭 가장자리에서 와류에 의한 세굴발생 소지를 감안해서 배수갑문 폭의 1.5배 정도로 하여 호상공 폭을 유지하도록 하였다. 이 경우의 호상공 폭은 줄어들므로(기존 호상공 폭은 배수갑문 폭의 약 2배에 해당된다.) 경제성을 높일 수 있으며 수정된 호상공 설치 방향도 그림 5에 표시되어 있다.

6. 결론

본 연구에서는 수리실험에 의해 배수갑문의 통수능력과 개방고 결정 및 호상공 설치방향을 제시하였으며 요약된 주요 내용은 다음과 같다.

- (1) 배수갑문의 최대 홍수배제 능력은 $Q_{\max} = 7,800 \text{ m}^3/\text{s}$ 로서 계획 최대 배제량 $Q = 7,050 \text{ m}^3/\text{s}$ 를 원활히 배제할 수 있었다.
- (2) 주어진 유량에 따라 담수호의 수위를 관리수위, 홍수위 등으로 유지하기 위한 배수갑문의 개방고를 결정함으로써 배수갑문 문비조작 운영지침의 기본자료로 이용할 수 있도록 하였다.
- (3) 호상공 방향을 배수갑문 방향에 일치시키고 제염암거 방류구간의 호상공을 제거함으로써 경제성을 높이고 토사퇴적을 방지하며 세굴방지 기능을 강화하도록 하였다.

7. 참고문헌

- (1) 건설부, 한국수자원공사, 낙동강하구언 공사지, 1981.
- (2) 농림수산부, 농어촌진흥공사, 새만금지구 수리실험 및 파랑관측 보고서, 1993.
- (3) 농림수산부, 농지개량사업 설계기준 (해면간척 편), 1991.